ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 621.355.2.004.17 10.23947/1992-5980-2018-18-1-110-117

Повышение надёжности свинцовых аккумуляторов сельскохозяйственных машин*

В. В. Беднарский[1], Д. В. Лайко[2], С. И. Ревяко[3]**
[1,2,3] Новочеркасский Инженерно-Мелиоративный Институт им. А .К. Кортунова, Донской ГАУ, г. Новочеркасск, Российская Федерация

Reliability improvement of lead accumulators of agricultural machines ***

V. V. Bednarsky[1], D. V.Layko[2], S. I. Revyako[3]***
[1,2,3] Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering, Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Введение. Статья посвящена решению задачи повышения надёжности работы сельскохозяйственной и мелиоративной техники за счёт улучшения основных показателей надёжности свинцовых стартерных аккумуляторных батарей (АКБ) в процессе их эксплуатации и хранения. Целью работы являлась разработка способов повышения эксплуатационной надёжности свинцовых аккумуляторов сельскохозяйственных и мелиоративных машин при различных режимах работы и хранения АКБ.
Материалы и методы. Предложены способы повышения эксплуатационных характеристик свинцовых аккумуляторов в процессе их работы и хранения за счет применения органических соединений класса пространственно-затруднённых фенолов (ПЗФ) в качестве добавок в электролит из расчета 1 г/л. Проведены исследования для оценки действия ПЗФ на коррозию токоотвода гладкого и пористого диоксидсвинцовых электродов. Для более объективной оценки ингибирующих свойств ПЗФ проводили ресурсные испытания серийных отечественных аккумуляторов в заводских условиях по существующим ГОСТам методами циклирования.
Результаты исследования. Разработан способ повышения срока службы свинцового аккумулятора за счет применения ПЗФ в качестве добавок в электролит, так как они обладают свойствами ингибировать процесс коррозии токоотвода положительного электрода.
Обсуждение и заключения. Полученные результаты могут быть использованы в процессе эксплуатации АКБ на сельскохозяйственной и мелиоративной технике, автомобильном транспорте и других машинах, так как замедляют процесс коррозии решёток положительных пластин.

Introduction. The solution to the problem of reliability increase of the agricultural and reclamation equipment by improving the key reliability indices of the lead-acid accumulator starter batteries (ASB) under their operation and storage is considered. The work objective is to develop ways to improve the maintainability of the lead-acid accumulators of the agricultural and reclamation machines under various operating and storage conditions.
Materials and Methods. Methods for increasing the performance characteristics of the lead-acid accumulators in the course of their operation and storage using organic compounds of the sterically hindered phenols (SHP as additives to the electrolyte at the rate of 1 g/l are proposed. The impact of the SHP on the conductor corrosion of smooth and porous lead-dioxide electrodes is assessed. For more objective evaluation of the inhibiting SHP properties, the life time tests of the commercial domestic batteries under plant conditions according to the current GOSTs and by cycling techniques are conducted.
Research Results. A technique for increasing the service life of a lead-acid accumulator using the SHP as an additive to the electrolyte is developed, since they have the properties to inhibit the corrosion process of the current collectors of the positive electrode.)
Discussion and Conclusions. The results obtained can be used in the operation of the ASB on the agricultural and reclamation machinery, motor vehicles, and other machines, as they slow down the corrosion process of the positive plate grids.

*Работа выполнена по договору № ГСС-78/1-2017.
**E-mail: ngma_meh@mail.ru, euroroads@mail.ru, ngma_meh@mail.ru
*** The research is done within the frame of Contract no. GSS-78/1-2017.

Кроме этого, добавки ПЗФ могут быть эффективно использованы при сезонном режиме работы свинцовых аккумуляторов, что характерно при эксплуатации в системе агропромышленного комплекса.

In addition, SHP additives can be effectively applied in the seasonal mode of the lead-acid accumulator operation which is typical for operation in the system of the agro-industrial complex.

Ключевые слова: надёжность, свинцовый аккумулятор, пространственно-затруднённые фенолы, положительный электрод, коррозия, эксплуатация, электролит.

Keywords: reliability, lead-acid accumulator, sterically hindered phenols, positive electrode, corrosion, operation, electrolyte.

Образец для цитирования: Беднарский В. В. Повышение надёжности свинцовых аккумуляторов сельскохозяйственных машин / В. В. Беднарский, Д. В. Лайко, С. И. Ревяко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т. 18, № 1. — С. 110−117.

For citation: V.V. Bednarsky, D.V.Layko, S.I. Revyako. Reliability improvement of lead accumulators of agricultural machines. Vestnik of DSTU, 2018, vol. 18, no.1, pp. 110−117.

Введение. Надёжность работы сельскохозяйственной и мелиоративной техники во-многом обуславливают свинцовые стартерные аккумуляторы, которые
являются сложными электрохимическими системами и их состояние, безусловно, оказывает влияние на работоспособность машин.

Немаловажную роль играет сезонный режим работы техники и свинцовых аккумуляторов. После окончания сезонной работы свинцовые аккумуляторные батареи (АКБ) должны сниматься с машин и передаваться в ремонтно-технические предприятия (РТП) на хранение. При передаче на хранение АКБ должны быть полностью заряжены, иметь соответствующий уровень и плотность электролита. Эти АКБ в процессе хранения один раз в 2–3 месяца должны проходить контрольно-тренировочные циклы по 10-часовому режиму заряд-разряд в соответствии с существующими государственными стандартами.

В ряде научных исследований [1, 2] указывается, что при разряде АКБ током 10-часового режима потенциал положительного электрода достигает 1,0 В при отборе 30–40% емкости. При заряде таким же током потенциал положительных пластин остаётся ниже 1,25 В вплоть до полного его заряда. Дальнейший перезаряд АКБ приводит к интенсивному коррозионному разрушению положительных пластин АКБ. Кроме этого, при доливании воды в элементы АКБ с целью достижения необходимого уровня электролита, что обычно при хранении и бывает, скорость коррозии решёток положительных пластин резко возрастает.

Коррозия решёток положительных пластин является одной из главных причин сокращения срока службы свинцовых АКБ. Поэтому решение вопросов снижения коррозионного разрушения решёток положительных пластин при эксплуатации и хранении способствует повышению надёжности работы как АКБ, так и сельскохозяйственной и мелиоративной техники в целом.

В связи с этим целью настоящей работы является повышение надёжности функционирования сельскохозяйственной и мелиоративной техники путём улучшения основных показателей надёжности свинцовых аккумуляторов в процессе их эксплуатации и хранения за счёт применения пространственно-затруднённых фенолов (ПЗФ), используемых в качестве добавок в электролит.

Предпосылки к проведению исследований. Коррозия решёток положительных пластин свинцовых АКБ обусловлена термодинамической нестабильностью свинца и свинцовых сплавов в области потенциалов, реализуемых на диоксидсвинцовом электроде. Это существенно снижает эффективность борьбы с коррозией в свинцовых аккумуляторах.

Изучению механизма коррозии свинца и свинцовых сплавов в сернокислых растворах посвящено большое количество исследований, результаты которых отражены в работах Б. Н. Кабанова, М. А. Дасояна, И. А. Агуфа и др. [3–5].

В работах Б. Н. Кабанова с сотрудниками [5, 6] последовательно развивается точка зрения на анодную коррозию свинца как на процесс окисления металла кислородом, выделяющимся на поверхности диоксидной пленки. При этом предполагается, что кислород частично входит в кристаллическую решетку диоксида свинца в виде «сверхстехиометрических» атомов и диффундирует к поверхности раздела металл-оксидная пленка, где происходит окисление металлического свинца в $\beta-$ и $\alpha - PbO_2$. Форма $\alpha - PbO_2$ может также образовываться в результате диспропорционирования промежуточных окислов:

$$2PbO_{1,5} \rightarrow \alpha - PbO_2 + PbO$$

Влияние условий поляризации на скорость анодного окисления обусловлено изменением скорости диффузии кислорода в решетке PbO_2. Представленный механизм основан на предположении о том, что про-

дукты окисления образуются в результате постепенного внедрения кислорода в кристаллическую решетку металла по схеме:

$$Pb \rightarrow PbO \rightarrow PbO_x \rightarrow \alpha - PbO_2 \ (2 > x > 1)$$

При этом все основные процессы протекают в твердой фазе путем диффузии ионов или атомов кислорода через вакансии в кристаллической решетке диоксида:

$$\left.\begin{aligned} Pb + O^{2-} &\rightarrow PbO + 2e \\ PbO + O^{2-} &\rightarrow \alpha - PbO_2 + 2e \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

либо

$$\left.\begin{aligned} H_2O &\rightarrow O + 2H^+ + 2e \\ Pb + O &\rightarrow PbO \\ PbO + O &\rightarrow \alpha - PbO_2 \end{aligned}\right\}$$

Кроме того, вероятно происходит диффузия ионов свинца к наружной поверхности оксидной плёнки, где они окисляются по схеме:

$$Pb^{2+} + 2H_2O \rightarrow \beta(\alpha) - PbO_2 + 4H^+ + 2e$$

Также возможно взаимодействие Pb^{2+}-ионов с диффундирующими навстречу ионами кислорода:

$$Pb^{2+} + O^{2-} \rightarrow PbO$$

с последующей реакцией (1).

Возможно также образование $\alpha - PbO_2$ по схеме:

$$Pb^{2+} + 2O^{2-} \rightarrow \alpha - PbO_2 + 2e$$

В данной работе предлагается в качестве ингибитора коррозии токоотвода положительного электрода свинцового аккумулятора использовать органические соединения класса пространственно-затруднённых фенолов (ПЗФ), которые используются в качестве добавок в электролит АКБ из расчета 1 г/л.

Предпосылкой к проведению данных исследований послужил ряд работ [7–9], где указывается, что соединения класса ПЗФ являются эффективными ингибиторами коррозии токоотвода положительного электрода свинцового аккумулятора. Антиокислительные и антикоррозионные свойства ПЗФ исследованы также в работах [10-15].

Результаты исследований, описанных в работе [9], где было установлено ингибирующее влияние ПЗФ на коррозию свинца и его сплавов при определении толщины оксидной плёнки, образующейся на границе токоотвод-активная масса, не могут служить объективным критерием, т.к. оксидная пленка может иметь различную структуру.

Материалы и методы. Для более достоверной оценки действия ПЗФ на коррозию токоотвода гладкого и пористого положительных электродов, проводили исследования «классическим» весовым способом по следующей методике.

В качестве гладких электродов использовали серийные токоотводы батарей 6МТС-9. Счет сборки макетного образца принимали *2+ / 3-* . Испытания проводили в режиме непрерывного перезаряда в течение 400 часов постоянным током плотностью 10 мА/см^2 одновременно на шести макетах свинцового аккумулятора.

При испытаниях пористых электродов изготавливали две группы макетных образцов свинцового аккумулятора. Для этого использовали серийные намазанные, но не отформированные отрицательные электроды и токоотводы положительных пластин батарей 6МТС-9. Намазку положительных электродов осуществляли вручную, состав пасты соответствовал требованиям ГОСТ 19 151–73 и ГОСТ 5 539–73. Намазанные электроды высушивали в вакуумной сушилке, затем проводили формирование совместно с отрицательными пластинами. При этом использовали двухступенчатый режим постоянного тока с начальной плотностью 0,75 А/дм^2 на видимую поверхность пластин. Отформированные электроды высушивали, затем из них собирали по 4 макетные батареи (3 аккумулятора в каждой) на группу. Аккумуляторы состояли из двух исследуемых положительных и трех вспомогательных отрицательных электродов. Первую группу батарей подвергали непрерывному перезаряду в течение 200 часов при $I = 0,2 \cdot C_{20}$. Вторую — циклировали постоянным током $I = 0,1 \cdot C_{20}$ (60 циклов заряд-разряд), имитируя период активной эксплуатации, затем ставили на хранение в течение 12 месяцев. В процессе хранения температура окружающей среды равнялась атмосферной температуре воздуха (253–303 К). Продол-

жительность режима непрерывного перезаряда составляла 2 цикла по ГОСТ 959.0–84. Это позволило определить весовые потери токоотводов, не разрушенных после испытаний.

Испытания гладкого и пористого электродов проводили при свободной сборке в электролите плотностью 1,28 г/см^3 при температуре 298±1 *К*. Сепаратором служил «мипласт», толщиной 1,3 мм.

Коррозию определяли по потере массы токоотвода в процессе испытаний. Для этого опытные образцы предварительно взвешивали на аналитических весах. После испытаний электроды промывали в дистиллированной воде, удаляли активную массу пористых положительных электродов и снимали оксидную плёнку в щёлочном растворе сахара. Потом сушили и снова взвешивали образцы. ПЗФ вводили в электролит аккумуляторов перед испытаниями из расчёта 1 г/л. Электролит контрольных батарей ПЗФ не содержал.

Испытания проводили с использованием выпрямителя постоянного тока и универсального вольтметра. Вначале определяли коррозионные потери каждого токоотвода, затем выводили средние значения из шести полученных. Разность токоотводов по массе перед испытаниями не превышала 5%. Расхождение полученных значений между тремя параллельно проведенными испытаниями не превышало 5%.

Кроме указанных исследований, для более объективной оценки ингибирующих свойств ПЗФ, проводили ресурсные испытания серийных аккумуляторов по ГОСТ 959.0–84. Добавки ПЗФ вводили в электролит (1 г/л) батарей 6СТ–90ЭМ.

Результаты исследования. В таблице 1 показаны средние значения коррозионных потерь (из 6-ти полученных) опытных и контрольных образцов токоотводов.

Таблица 1
Table 1

Коррозионные потери токоотвода гладкого диоксидсвинцового электрода в условиях непрерывного перезаряда

Corrosion losses of current conductor of smooth lead-dioxide electrode under continuous overcharge conditions

Вариант испытаний *Test option*	Масса токоотводов, г *Weight of current collectors, g*		Коррозионные потери, % *Corrosion losses,%*
	до испытаний *before the tests*	после испытаний *after testing*	
Без добавки	28,2	16,9	40,1
С добавкой ПЗФ	28,5	21,3	25,1

Результаты испытаний определили дальнейшие исследования на пористом электроде. Скорость коррозионного разрушения токоотвода пористого положительного электрода определяется условиями его эксплуатации. Для свинцового стартерного аккумулятора часто имеет место режим постоянного перезаряда (буферный режим), при котором коррозия протекает наиболее интенсивно, а также режим периодической эксплуатации, характерный для сельскохозяйственной техники.

Вследствие этого представлялось актуальным проведение исследований методом непрерывного перезаряда и испытаний в условиях хранения без постоянного подзаряда. В таблицах 2,3 представлены средние значения коррозионных потерь шести исследуемых электродов каждого варианта.

Таблица 2
Table 2

Коррозионные потери токоотвода пористого положительного электрода в условиях непрерывного перезаряда

Corrosion losses of current conductor of porous positive electrode under continuous overcharge conditions

Вариант испытаний *Test option*	Масса токоотводов, г *Weight of current collectors, g*		Коррозионные потери, % *Corrosion losses,%*
	до испытаний *before the tests*	после испытаний *after testing*	
Без добавки	27,7	25,9	6,2
С добавкой ПЗФ	28,1	26,6	5,3

Таблица 3
Table 3

Коррозионные потери токоотвода пористого положительного электрода при хранении в течение 1 года без подзаряда

Corrosion losses of current conductor of porous positive electrode upon storage for 1 year without charging

Вариант испытаний *Test option*	Масса токоотводов, г *Weight of current collectors, g*		Коррозионные потери, % *Corrosion losses,%*
	до испытаний *before the tests*	после испытаний *after testing*	
Без добавки	26,9	24,6	8,41
С добавкой ПЗФ	26,7	25,0	6,4

Обсуждение и заключения. Анализ результатов испытаний показал, что в присутствии ПЗФ коррозионные потери токоотвода гладкого положительного электрода в условиях непрерывного перезаряда снижаются на 30–50%, пористого — на 12–15%, при хранении пористого электрода 1 год — на 22–27%.

Влияние органических соединений на коррозию токоотвода положительного электрода, вероятно, происходит по следующей схеме. В процессе растворения ПЗФ в электролите образуются стабильные феноксильные радикалы, причем PbO_2 катализирует этот процесс. Радикалы могут находиться как в феноксильной форме, так и в хиноидной [16].

Феноксильные радикалы, исходя из своего строения, обладают способностью образовывать электроннопроводящие комплексы с металлами, в частности, с ионами Pb^{2+} [9]. Образовавшиеся комплексы адсорбируются на поверхности раздела $Pb-PbO_2$ и электростатически экранируют поверхность металла, затрудняя проникновение ионов водорода к поверхности раздела металл-активная масса.

Кроме того, вольтамперометрические исследования показали, что указанные ПЗФ повышают перенапряжение выделения кислорода на поверхности диоксида свинца, а следовательно, снижают концентрацию O_2 в граничном слое металл-оксид и затрудняют диффузию атомов кислорода в кристаллическую решетку свинца, что согласно теории Б. Н. Кабанова [5] равносильно снижению коррозионного разрушения металла.

С другой стороны, наиболее интенсивная коррозия положительного токоотвода протекает при резком снижении потенциала электрода от 1,4 В до 0,8–1,0 В. При этом происходит десорбция ионов HSO_4^-, а поверхность диоксида свинца не успевает запассивироваться кристаллами $PbSO_4$ и внедрение кислорода в решетку металла протекает беспрепятственно [1]. Возможно, комплекс, образованный феноксильным радикалом и ионом Pb^{2+}, способствует смещению значений потенциалов в наименее электрохимически активную коррозионную область. Вследствие этого, изменяется стационарная скорость образования на поверхности диоксида свинца внутреннего плотного слоя $\alpha-PbO_2$, начало образования которого предопределяет возникновение механически напряженной структуры PbO_2, а, следовательно, наличие различного рода деформаций, в том числе и коробления положительного электрода. Отсутствие коробления может свидетельствовать также и о более равномерной поляризации по толщине электрода в процессе его эксплуатации.

Результаты экспериментов хорошо коррелируются между собой, а также с данными работы [9].

Кроме того, коррозия положительного токоотвода определяется количеством пропущенного через аккумулятор электричества. Следовательно, такие эксплуатационные характеристики батарей, как прием заряда, саморазряд, способность к сохранению электроэнергии при разомкнутой внешней цепи оказывают существенное влияние на скорость коррозионного разрушения токоотвода положительного электрода. Результаты испытаний влияния добавок на перечисленные характеристики позволяют косвенно подтвердить возможность ингибирования ПЗФ коррозии свинца и свинцовых сплавов [9,11].

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать заключение, что ПЗФ обладают свойствами ингибировать процесс коррозии токоотвода диоксидсвинцового электрода. Наиболее эффективно добавки ПЗФ могут быть использованы при сезонном режиме работы аккумуляторных батарей, который, в основном, характерен для сельскохозяйственной и мелиоративной техники. Полученные результаты послужили предпосылкой для проведения широкомасштабных испытаний в реальных условиях эксплуатации АКБ.

Библиографический список

1. Чернов, В. Г. Коррозия положительного токоотвода свинцового аккумулятора / В. Г. Чернов, Ф. И. Кукоз // Защита металлов. — 1988. — Т.24, № 6. — С.972–975.

2. Горшков, А. Ю. Исследование влияния пластической деформации на коррозионную стойкость токоотводов свинцово-кислотных аккумуляторов / А. Ю. Горшков, Д. Р. Даутов // Техника и технология: новые перспективы развития. — 2014. — № XIV. — С.78–80.

3. Дасоян, М. А. Современное состояние и перспективы развития научных исследований в области кислотных аккумуляторов / М. А. Дасоян, А. И. Русин, А. П. Батин // Сб. науч. трудов ВНИАИ. Химические источники тока. — Ленинград : Энергоатомиздат. — 1984. — С.15–18.

4. Герметичная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея: патент 2011243 Рос. Федерация: 5H 01M 2/04 A / И. А. Агуф, Г. В. Кривченко, А. А. Мигунов. — № 4945985/07; опубл. 15.04.1994 — 3 с.

5. Багоцкий, В. С. Основы электрохимии / В. С. Багоцкий. — Москва : Химия, 1988. — 399 с.

6. Влияние состава свинцовых сплавов на проводимость коррозионного слоя положительных решеток в свинцово-кислотном аккумуляторе / М. М. Бурашникова [и др.] // Электрохимическая энергетика. — 2009. — Т.9, №4. — С.209–217.

7. Способ консервации свинцового аккумулятора: а.с. 1353241 СССР: МКИ^3 H 01M 4/23:10/12 / В.И. Гончаров, В.Г. Чернов, В.С. Молоствов; заявитель Особ. конструкт.-технол. бюро «Орион» при Новочерк. политехн. ин-те (СССР). — № 4014163/24; заявл. 02.01.86, опубл. 12.09.87, Бюл. №3. — 1 с.

8. Свинцовый аккумулятор: а.с. 1389620 СССР: МКИ^3 H 01 M 10/08 / В. И. Гончаров, А. И. Русин, В. С. Молоствов, В. Г. Чернов, А. П. Батин; заявитель Особ. конструкт.-технол. бюро «Орион» при Новочерк. политехн. ин-те (СССР). — № 3999771; заявл. 02.01.86, опубл. 05.12.87, Бюл. №11. — 1 с.

9. Молоствов, В. С. Улучшение эксплуатационных характеристик свинцово-кислотного аккумулятора за счёт применения пространственно-затрудненных фенолов: автореф. дис. … канд. техн. наук / В. С. Молоствов. — Ленинград : Всесоюзн. научн. исслед. ин-т, 1986. — 20 с.

10. Беднарский, В. В. Повышение эксплуатационной надёжности свинцовых аккумуляторов сельхозмашин / В. В. Беднарский, С. И. Ревяко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: матер. 5-й междунар. науч.- практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2012. — С.190–191.

11. Беднарский, В. В. Улучшение эксплуатационных и электрических характеристик свинцовых стартерных аккумуляторов // В. В. Беднарский, А. Д. Дьяченко, В. Н. Гелеверов // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: матер. 7-й междунар. науч. — практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2014. — С.197–199.

12. Беднарский, В. В. Улучшение разрядных характеристик свинцового аккумулятора на стадии эксплуатации / В. В. Беднарский, Д. В. Лайко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: матер. 10-й междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2017. — С.259–261.

13. Пространственно-затрудненные фенолы как антиокислительные, антикоррозионные и антимикробные присадки к минеральным смазочным маслам / Г. Ю. Колчина [и др.] // НефтеГазоХимия. — 2017, №1. — С.10–13.

14. Klein, E., Lukes, V., Cibulkova, Z. Ob ehnergetike fenol'noj antioksidantnoj aktivnosti [On the energetics of phenol antioxidants activity] Petroleum & Coal, 2005, no 47 (1), pp.33-39.

15. Vaganek, A., Rimarcik, J., Lukes, V., Rottmannova, L., Klein, E. DFT/B3LYP issledovanie ehntal'pij gomoliticheskoj i geteroliticheskoj dissociacii O-H svyazej v stericheski zatrudnennyh fenola [DFT/B3LYP study of the enthalpies of homolytic and heterolytic O-H bond dissociation in sterically hindered phenols] Acta Chimica Slovaca, 2011, vol. 4, no 2, pp.55-71.

16. Беднарский, В. В. Применение пространственно-затрудненных фенолов в технологии и эксплуатации свинцового аккумулятора: дис. ... канд. тех. наук / В. В. Беднарский. — Новочеркасск, 1990. — 164 с.

References

1. Chernov, V.G., Kukoz, F.I. Korroziya polozhitel'nogo tokootvoda svintsovogo akkumulyatora. [Corrosion of positive current conductor of lead-acid accumulator.] Protection of Metals, 1988, vol. 24, no. 6, pp. 972–975 (in Russian).

2. Gorshkov, A.Y., Dautov, D.R. Issledovanie vliyaniya plasticheskoy deformatsii na korrozionnuyu stoykost' tokootvodov svintsovo-kislotnykh akkumulyatorov. [Study of plastic deformation impact on corrosion resistance of current conductors of lead-acid batteries.] Tekhnika i tekhnologiya: novye perspektivy razvitiya, 2014, no. XIV, pp. 78–80 (in Russian).

3. Dasoyan, M.A., Rusin, A.I., Batin, A.P. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nauchnykh issledovaniy v oblasti kislotnykh akkumulyatorov. [Current state and prospects for development of scientific research in the area of acid batteries.] Sb. nauch. trudov VNIAI. Khimicheskie istochniki toka. [Coll. sci. papers of VNIAI. Chemical current sources.] Leningrad: Energoatomizdat, 1984, pp. 15–18 (in Russian).

4. Aguf, I.A., Krivchenko, G.V., Migunov, A.A. Germetichnaya svintsovo-kislotnaya akkumulyatornaya batareya: patent 2011243 Ros. Federatsiya: 5H 01M 2/04 A. [Sealed lead-acid battery.] Patent RF, no. 2011243, 1994. (in Russian).

5. Bagotskiy, V.S. Osnovy elektrokhimii. [Electrochemistry basics.] Moscow: Khimiya, 1988, 399 p. (in Russian).

6. Burashnikova, M.M., et al. Vliyanie sostava svintsovykh splavov na provodimost' korrozionnogo sloya polozhitel'nykh reshetok v svintsovo-kislotnom akkumulyatore. [Effect of lead alloys composition on conductivity of corrosive layer of positive grids in lead-acid accumulator.] Electrochemical Energetics, 2009, vol. 9, no. 4, pp. 209–217 (in Russian).

7. Goncharov, V.I., Chernov, V.G., Molostvov, V.S. Sposob konservatsii svintsovogo akkumulyatora: a.s. 1353241 SSSR: MKI3 N 01M 4/23:10/12. [Method of preservation of lead accumulator: author certificate no. 1353241, 1986 (USSR).] (in Russian).

8. Goncharov, V.I., Rusin, A.I., Molostvov, V.S., Chernov, V.G., Batin, A.P. Svintsovyy akkumulyator: a.s. 1389620 SSSR: MKI3 N 01 M 10/08. [Lead-acid accumulator: author certificate no. 1389620, 1987 (USSR).] (in Russian).

9. Molostvov, V.S. Uluchshenie ekspluatatsionnykh kharakteristik svintsovo-kislotnogo akkumulyatora za schet primeneniya prostranstvenno-zatrudnennykh fenolov: avtoref. dic. … kand. tekhn. nauk. [Performance improving of lead-acid battery due to the use of sterically hindered phenols: Cand.Sci. (Eng.), diss., author’s abstract.] Leningrad: All-Union Research Inst., 1986. — 20 c. (in Russian).

10. Bednarsky, V.V., Revyako, S.I. Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti svintsovykh akkumulyatorov sel'khozmashin. [Improving maintainability of lead accumulators of agricultural machines.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: mater. 5-y mezhdunar. nauch.- prakt. konf. [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 5th Int. Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2012, pp. 190–191 (in Russian).

11. Bednarsky, V.V., Dyachenko, A.D., Geleverov, V.N. Uluchshenie ekspluatatsionnykh i elektricheskikh kharakteristik svintsovykh starternykh akkumulyatorov. [Improving the performance and electrical specifications of lead-acid starter batteries.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: mater. 7-y mezhdunar. nauch.- prakt. konf. [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 197–199 (in Russian).

12. Bednarsky, V.V., Layko, D.V. Uluchshenie razryadnykh kharakteristik svintsovogo akkumulyatora na stadii ekspluatatsii. [Improving the discharge characteristics of lead accumulator under operation.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: mater. 10-y mezhdunar. nauch.- prakt. konf. [Current state and development trends of agricultural machinery: Proc. 10th Int. Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2017, pp. 259–261 (in Russian).

13. Kolchina, G.Y., et al. Prostranstvenno-zatrudnennye fenoly kak antiokislitel'nye, antikorrozionnye i antimikrobnye prisadki k mineral'nym smazochnym maslam. [Sterically hindered phenols as antioxidant, anticorrosive and antimicrobial additives to mineral lubricating oils.] Oil & Gas Chemistry, 2017, no. 1, pp. 10–13 (in Russian).

14. Klein, E., Lukes, V., Cibulkova, Z. Ob ehnergetike fenol'noj antioksidantnoj aktivnosti [On the energetics of phenol antioxidants activity.] Petroleum & Coal, 2005, no. 47 (1), pp. 33-39.

15. Vaganek, A., Rimarcik, J., Lukes, V., Rottmannova, L., Klein, E. DFT/B3LYP issledovanie ehntal'pij gomoliticheskoj i geteroliticheskoj dissociacii O-H svyazej v stericheski zatrudnennyh fenola [DFT/B3LYP study of the enthalpies of homolytic and heterolytic O-H bond dissociation in sterically hindered phenols.] Acta Chimica Slovaca, 2011, vol. 4, no 2, pp.55-71.

16. Bednarsky, V.V. Primenenie prostranstvenno-zatrudnennykh fenolov v tekhnologii i ekspluatatsii svintsovogo akkumulyatora: dis. ... kand. tekh. nauk. [Application of sterically hindered phenols in the technology and operation of lead-acid accumulator: Cand.Sci. (Eng.), diss.] Novocherkassk, 1990, 164 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 21.11.2017
Сдана в редакцию 21.11.2017
Запланирована в номер 20.01.2018

Received 21.11.2017
Submitted 21.11.2017
Scheduled in the issue 20.01.2018

Об авторах:

Беднарский Виктор Витальевич,
доцент кафедры «Сервис транспортных и технологических машин», Новочеркасского инженерно - мелиоративного института им. А.К. Кортунова
(РФ, 346468, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская д. 111),
кандидат технических наук,
ORCID https://orcid.org/0000-0002-9311-2057
ngma_meh@mail.ru

Лайко Денис Владимирович,
доцент кафедры «Сервис транспортных и технологических машин», Новочеркасского инженерно - мелиоративного института им. А.К. Кортунова
(РФ, 346468, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская д. 111),
кандидат технических наук,
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1181-2325
euroroads@mail.ru

Ревяко Сергей Иванович,
доцент кафедры «Сервис транспортных и технологических машин», Новочеркасского инженерно - мелиоративного института им. А.К. Кортунова
(РФ, 346468, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская д. 111),
кандидат технических наук,
ORCID https://orcid.org/0000-0001-7362-5042
ngma_meh@mail.ru

Authors:

Bednarsky, Victor V.,
associate professor of the Service of Transport and Production Machines Department, Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering, Don State Agrarian University (RF, 346468, Novocherkassk, ul. Pushkinskaya, 111),
Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID https://orcid.org/0000-0002-9311-2057
ngma_meh@mail.ru

Layko, Denis V.,
associate professor of the Service of Transport and Production Machines Department, Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering, Don State Agrarian University (RF, 346468, Novocherkassk, ul. Pushkinskaya, 111),
Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID https://orcid.org/0000-0002-1181-2325
euroroads@mail.ru

Revyako, Sergey I.,
associate professor of the Service of Transport and Production Machines Department, Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering, Don State Agrarian University (RF, 346468, Novocherkassk, ul. Pushkinskaya, 111),
Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID https://orcid.org/0000-0001-7362-5042
ngma_meh@mail.ru